

**РЕГУЛИРОВАНИЕ ФОРМЫ ОТРАЖАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ВАНТОВО-ОБОЛОЧЕЧНЫХ  
КОНСТРУКЦИЙ КОСМИЧЕСКИХ АНТЕННЫХ РЕФЛЕКТОРОВ**

А. В. Азин<sup>1</sup>, С. В. Белов<sup>1</sup>, С. А. Кузнецов<sup>2</sup>, Н. Н. Марицкий<sup>1</sup>

Научный руководитель: старший научный сотрудник, д.ф.-м.н. С.В. Пономарев

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский государственный университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36, 634050

<sup>2</sup>АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнёва,

Россия, г. Железногорск, Красноярский край, ул. Ленина, 52, 662972

E-mail: [azinanton@niipmm.tsu.ru](mailto:azinanton@niipmm.tsu.ru)

**REFLECTING SURFACE SHAPE ADJUSTMENT OF SPACE REFLECTOR CORD MEMBRANE  
ELEMENTS**

A.V. Azin<sup>1</sup>, S.V. Belov, S. A. Kuznetsov<sup>2</sup>, N. N. Maritskiy

Scientific Supervisor: Dr. S.V. Ponomarev

<sup>1</sup>Tomsk State University, Russia, Tomsk, Lenin str., 36, 634050

<sup>2</sup>Academician M.F. Reshetnev Information Satellite Systems,

Russia, Zheleznogorsk, Krasnoyarsk region, Lenin str., 52, 662972

E-mail: [azinanton@niipmm.tsu.ru](mailto:azinanton@niipmm.tsu.ru)

**Abstract.** *The paper describes the concept involving reflecting surface shape adjustment of space reflector cord membrane elements. This is already critical at the stage of ground preparations in adjusting reflecting surface shape. It is also important to retain and regulate the reflecting surface shape under long-term operating conditions of space craft near-Earth orbit. Regulating reflecting surface shape system including devices of controlling reflecting surface shape and reflector cord elements length is intended for above-described purposes.*

**Введение.** В течение срока активного существования космического аппарата форма отражающей поверхности крупногабаритного рефлектора искажается, в результате чего ухудшаются радиотехнические характеристики рефлекторной антенны КА. Искажения формы ОП могут вызываться разными причинами. К числу внешних воздействий можно отнести перепады температуры, вызывающие термические деформации, также возможны повреждения отдельных элементов ФОС рефлектора в результате столкновений с микрометеоритами и космическим мусором. Внутренним фактором, влияющим на форму отражающей поверхности, является вязкоупругое поведение материалов конструкции рефлектора. Действие любого из этих факторов, или их совокупности может привести к недопустимым искажениям формы ОП, которые необходимо будет скорректировать в процессе орбитальной эксплуатации.

**Регулировка формы отражающей поверхности.** В работе У.К. Белвина и др. [1] рассмотрены вопросы регулирования формы ОП в земных условиях на примере 15-метровой вантово-оболочечной антенны с центральным стержнем. Проведен анализ возможности уменьшения неточности поверхности путем изменения длины регулировочных тросов. Описано применение методов конечных элементов и наименьших квадратов, приведены результаты эксперимента. Для трансформируемых вантовых конструкций антенных

рефлекторов в 1986 г. Миурой была разработана концепция фермы с предварительным натяжением [2] и рассмотрена процедура нахождения величин корректировки длин вантовых элементов использовался линейный анализ чувствительности. Показано, что адаптивный характер конструкции позволяет проводить регулировку поверхности рефлектора в земных условиях и на орбите. В работах показана [3-4] эффективная применимость матриц влияния для регулировки натяжения фронтальной сети.

Отдельным вопросом является вопросы практической реализации регулировок в процессе эксплуатации. Это проблема системы измерений состояния ОП и система корректирующих исполнительных устройств. Эти вопросы рассмотрены в публикациях [5-9].

Могут быть реализованы следующие способы орбитальной юстировки.

– Регулировка длины каждой оттяжки в отдельности. Этот способ применяется для наземной настройки рефлектора, и позволяет достичь наилучшего приближения формы ОП к идеальному параболоиду. Устройства, реализующие такой способ регулировки на орбите, может недопустимо увеличить массу рефлектора. Тем не менее, она принципиально реализуема с использованием микроприводов.

– Регулировка формы ОП путем коррекции положения ключевых точек ОП. Выбор точек регулировки определяется, главным образом, конструктивными соображениями. Масса системы регулировки ОП, основанной на таком подходе, должна быть меньше относительно систем регулировки длин вант. Также такая система имеет преимущества компоновки в силу своего относительно малого размера.

– Регулировка ОП путем коррекции натяжения периферийного шнура. Такой способ регулировки практически не требует увеличения массы рефлектора, а также позволяет обойтись минимальным количеством оборудования для реализации системы орбитальной регулировки. Однако он может быть эффективным не для всех конструкций ФОС.

– Регулировка отражающей поверхности путем коррекции натяжения главных радиальных шнуров. Такой способ регулировки также практически не требует увеличения массы рефлектора и позволяет обойтись минимальным количеством оборудования для реализации системы орбитальной регулировки.

– Изменение среднеквадратичного отклонения (СКО) формы ОП от теоретического параболоида путем поворота рефлектора на малый угол относительно точки крепления к штанге. Данный способ может рассматриваться как дополнительный для коррекции СКО ОП в малых пределах и как основной для коррекции отклонения фокальной оси параболоида наилучшего приближения.

Реализация приведенных способов регулировки требует системы со значительным количеством устройств – натяжителей вантовых элементов с системой их питания и управления. Возможны следующие основные варианты:

1. Проводная система питания и управления от КА;
2. Автономная энергетически независимая от КА беспроводная система;
3. Система с беспроводной передачей энергии (например, лучом лазера) от КА на рефлектор и далее разводкой к каждому исполнительному устройству;
4. Система с беспроводной передачей энергии (например, лучом лазера) от КА к каждому исполнительному устройству.

**Выводы.** В работе рассмотрены концепции системы устройств регулировки рефлекторов с вантовой формообразующей системой, реализуемые при жестком ограничении по массе этих устройств, с привлечением новейших разработок по облегченным солнечным панелям, при обеспечении тепловых условий для электроники и использовании микроприводов внутри корпусов. Реализация этих концепций позволит осуществлять не только орбитальные юстировки, но и оперативные коррекции формы ОП при изменении наземных зон обслуживания. Тем самым расширив функциональные возможности космических антенных рефлекторов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России, уникальный идентификатор RFMEFI57817X0257.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белвин У.К., Эдигхофер Г.Г., Херштром К.Л. Квазистатическое регулирование формы космической антенны диаметром 15 м. // Аэрокосмическая техника, 1990, №2. С. 60-69.
2. Миура К., Миязаки Я. Конструирование антенны с растянутой фермой. //Аэрокосмическая техника, 1991, № 1. С. 61-69.
3. Бутов В.Г., Пономарев С.В., Солоненко В.А., Халиманович В.И., Ящук А.А. Компьютерное моделирование при проектировании и настройке рефлекторов космических антенн. Электронные и электромеханические системы и устройства: Сб. научных трудов – Новосибирск: Наука, 2007. - С. 369- 376.
4. Ящук А.А. Математическое моделирование рефлекторов зонтичного типа. Дисс. канд. физ.-мат. наук. – Томск, 2005. – 120 с.
5. John A. Garba, Ben K. Wada, James L. Fanson. Adaptive structures for precision controlled large space systems. // Journal of intelligent material systems and structures – 1992. № 3. p. 348-366.
6. Marc R. Angelino, Gregory N. Washington. Design and construction of a piezoelectric point actuated active aperture antenna. // Journal of intelligent material systems and structures – 2002. № 13. pp. 125-136.
7. Fukashi Andoh, Gregory Washington, Hwan-Sik Yoon, Vadim Utkin. Efficient shape control of distributed reflectors with discrete piezoelectric actuators. // Journal of intelligent material systems and structures – 2004. № 15. pp. 3-15.
8. Zuowei Wang, Tuanjie Li, Yuyan Cao. Active shape adjustment of cable net structures with PZT actuators Aerospace Science and Technology 26 (2013) 160–168.
9. Zuowei Wang<sup>1</sup>; Tuanjie Li<sup>2</sup>; and Hanqing Deng Form-Finding Analysis and Active Shape Adjustment of Cable Net Reflectors with PZT Actuators J. Aerosp. Eng. 2014.27:575-586.